

はじめに 水域の底泥に含まれる物質の輸送は底泥の性質および水域の水理条件によって異なる。拡散輸送物質として塩分を用い、数種の底泥構成材料に対して水理条件を変化させ、輸送速度を実験水路で測定した。輸送量および底泥の拡散係数について若干の知見を得たので報告する。

上層の水域が静止の場合については、基礎式を式(1)で表せば、底泥内静止拡散係数は式(2)で表され、間隙率入の関数で M は間隙の空間的形状によって異なるが、ほぼ $M = 1/3$ と見なしてよいことがわかった。ここで得られた値は山口の実験値²⁾ $D_s = (0.7 \sim 1.6) \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sec}$ とほぼ一致した。

上層水域が流動する場合については、奥田が底泥内拡散係数 D が深さ方向に変化するとして式(4)の形を与えている。ここに D_0 は底泥界面における値である。千葉県の実験値より式(5)の値、アイゼル湖の実験値より式(6)の値を逆算している。

また、山口は統合報告書⁴⁾中で回転流の実験値より、深さ10cmのところで D が流速によって増加することを述べている。また式(7)の値、全作として式(8)を与えている。⁵⁾

実験方法 実験装置は $100 \times 10 \times 20 \text{ cm}$ の水路の底に $40 \times 10 \times 30 \text{ cm}$ の底層部

を設け、塩水を満たした後、表1 表1 粒径(cm)

に示す底泥構成材料(G:珪石, M:混合珪石, S:砂, B:ビーズ)をため上層水を水深約5cm, 流速

	d_{10}	d_{60}	d_u
G	.55	.8	.66
M	.16	.7	.33
S	.08	.10	.093
B	.03	.04	.035

$\bar{u} = 0.4 \sim 10 \text{ cm/sec}$ ($Re_r = 100 \sim 2500$) で流動させ、底部に固定した16ヶの端子により塩分濃度の時間的変化を測定した。

実験結果 底泥内濃度の時間的変化は $\bar{u} < 1.7 \text{ cm/sec}$

($Re_r < 470$) までは界面濃度を S_0 とし、ほぼ静止拡散と同じ型であり誤差関数で表示される。しかし、流速が

増加して $\bar{u} > 2.9 \text{ cm/sec}$ ($Re_r > 610$) では図-1に示すように、底泥表層部の濃度が急激に低下し、またかも界面が低下したかのように見える。これを底泥内に発達した濃度境界層とみなして、底泥初期濃度を S^* とすると $(S^* - S)/(S^* - S_0)$ が90%に低下する点を濃度境界層の外縁とし S_{90} と水理量および底泥の特性値との関係を探り出した。

濃度境界層と拡散係数 底泥内固定端子の濃度の時間的変化から、濃度境界層厚 S_{90} は表-1の材料に対して次の関係が得られた。

$$S_{90} = B\sqrt{t} \quad (12)$$

$$B = 8.6 \times 10^{-6} (d_u/d_{us})^{1/2} Re_r^2 \quad (13)$$

ここに B : 水の動粘性係数 ν : 時間, $d_{us} = 0.093 \text{ cm}$

式(12)が得られたことにより、 $z' = z - \delta$ において $z' = 0$ で $(S_0 - S)/(S^* - S_0)$

$$= 0 \text{ となる。} z' \text{ より以下では } D \text{ の変化は小さいとすれば式(14),}$$

$$\bar{u} = (S^* - S)/(S^* - S_0) = \text{erfc}[(z - \delta)/2\sqrt{Dt}] = \text{erfc}\left\{\frac{(z/\sqrt{t}) - B\sqrt{t}}{2\sqrt{D}}\right\} \quad (14)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} = D_s \frac{\partial^2 S}{\partial z^2} \quad (1)$$

$$D_s = \lambda^m D_M \quad (2)$$

$$D_s = \sqrt[3]{\lambda} D_M \quad (3)$$

$$D = D_0 \exp(-z/\lambda) \quad (4)$$

$$D_0 = 1.4 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sec}, \lambda = 2.55 \text{ cm} \quad (5)$$

$$D_0 = 9.9 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{sec}, \lambda = 100 \text{ cm} \quad (6)$$

$$D_0 = 10^{-4} \sim 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{sec} \quad (7)$$

$$D_T = 5 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sec} \quad (8)$$

$$du = \sqrt{d_{10} \cdot d_{60}} \quad (9)$$

$$Re_r = \bar{u} R/\nu \quad (R: \text{径深}) \quad (10)$$

$$Red = \bar{u} d_u/\nu \quad (11)$$

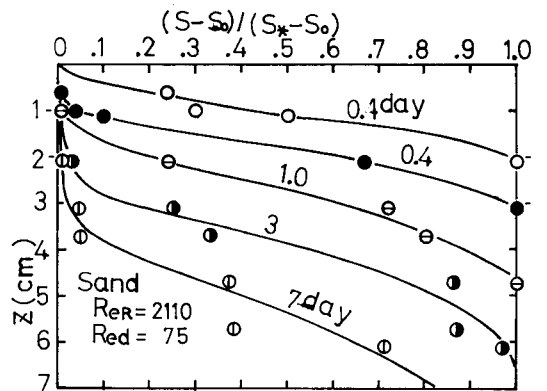


図-1 鉛直濃度分布の時間的変化

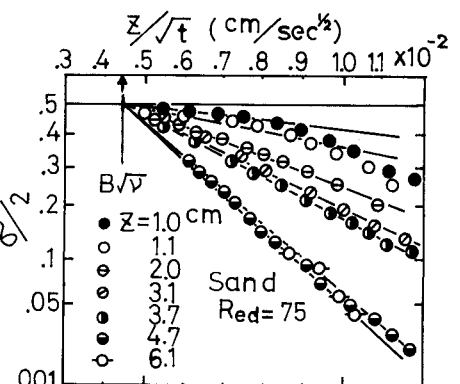


図-2 濃度変化(正規確率紙上)

が得られる。したがって、正規確率紙に $\sigma/2$ と $\sigma/3$ をプロットすれば図-2のような関係が得られる。これより $\sigma/2 = 0.5$ における $\sigma/3$ の値が B/D であり、直線の勾配より各深さにおける拡散係数が得られる。このようにして求めた B の値は式(15)の関係にあるが、式(13)が90%濃度低下とやや過大に見積、ているので、式(15)の方がより妥当な値と与えるであらう。次に図-2の勾配から求めた拡散係数 D については式(4)で表される関係にあるが、式(16)で規定される限界深さ δ_c 以下では静止拡散係数式(3)になり、 δ_c より浅い界面までの間で指数的に増加している。この点については、さうに検討しない。

総括拡散係数 底泥からの物質輸送量を量的に表す必要がある。底泥の単位表面積を通、て時間大までに水域へ輸送した物質質量 M_T は鉛直濃度分布の積分により求められるが、これは前述した濃度境界層の低下による M_B と静止拡散による M_S との和と見做せば式(17)で表される。一方これらは、それぞれ式(18),(19),(20)で表文れるから、これらを(17)に代入すれば式(21)が得られる。濃度分布の積分より得られた M_T を式(18)で近似して求めた D_T と Re_R との関係を図-3に示す。これより D_T も Re 数が増えればより少ない Re 数で急速に D_T が増加する傾向が見られる。 D_T は式(21)の関係から予想されたと静止拡散に流れによる濃度境界層の底泥内への侵入の効果が加わったものである。式(21)の B がどのような関係形で表されれば、前に述べた D_T と $D_S = \delta_c D_M$ を用いて B を逆算した結果を図-4にプロットした。その結果、これらをほぼ満足する関係式は式(22)となり、これが表す曲線群を図-4に示しておいた。礫石の適合性が無いが近似的にはほぼ満足しているといえよう。 $B = 0.004$ 以下では D_S からのずれが1%以下であり、実用上静止拡散域と与えてよいであらう。式(22)を(21)に代入して D_T を表したものが式(23)である。右辺(1)内の方2項が流れの効果であり、流速と粒径が影響することわかる。したがって底泥から水中への物質輸送量は単位表面積あたり、式(18)となり、 D_T は式(23)を用いられよいといえる。

参考文献 1) 浦; 底泥から静水域への物質輸送について 水研研報33(昭和47)

- 2) 永岡他; 河川湖沼の混合攪拌, 工業用水 104, 1967.5. p40
- 3) 奥田; 人造湖湖における混合攪拌の攪拌定について(2) 土木研究所年報 7号 1964.3
- 4) 山口; 河川湖沼における攪拌現象の総合報告, 工業用水 115, 1968.4 p36
- 5) 吉川, 山口; 野水湖底からの混合攪拌と成層流床における逆戻り水に関する研究 水資源の効率的利用と環境の保全に関する研究 最終報告書 1973.3 p12
- 6) 浦, 他; 礫石層から水中への混合攪拌について, 土木工研報 23-2 1972.12 p69

謝辞 本研究は昭和55年度科学研究(水産省土木工研費, 代表者土木工研費)の援助を受け、心から感謝する。また、実験に協力した卒業生、山中美穂君、正田伸二君、資料整理に協力した本学両府直人技官に謝意を表す。

$$B = 8.6 \times 10^{-6} (d_p/d_{us})^{-3/4} Re_d^2 \quad (15)$$

$$\delta_c = (R/1000) Re_R \quad (16)$$

$$M_T = M_B + M_S \quad (17)$$

$$M_T = 2\lambda (S^* - S_0) \sqrt{D_T t / \pi} \quad (18)$$

$$M_B = \lambda (S^* - S_0) B \sqrt{D_T t} \quad (19)$$

$$M_S = 2\lambda (S^* - S_0) \sqrt{D_S t / \pi} \quad (20)$$

$$\sqrt{D_T / \nu} = \sqrt{D_S / \nu} + B \sqrt{\pi} / 2 \quad (21)$$

$$B = 6.8 \times 10^{-6} (d_p/d_{us})^{-1} Re_d^2 \quad (22)$$

$$D_T / D_M = [\lambda^2 + 6.0 \times 10^6 \sqrt{S_c} (d_p/d_{us})^{-1} Re_d^2]^2 \quad (23)$$

$$\therefore Sc = \nu / D_M \quad (24)$$

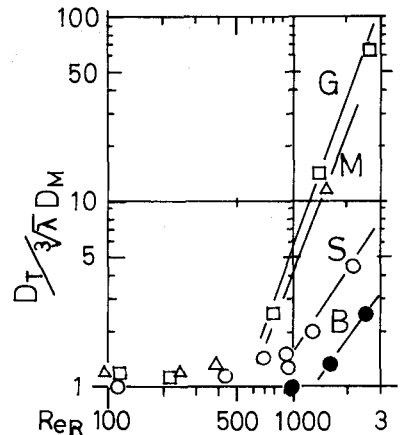


図-3 総括拡散係数と Re 数の関係

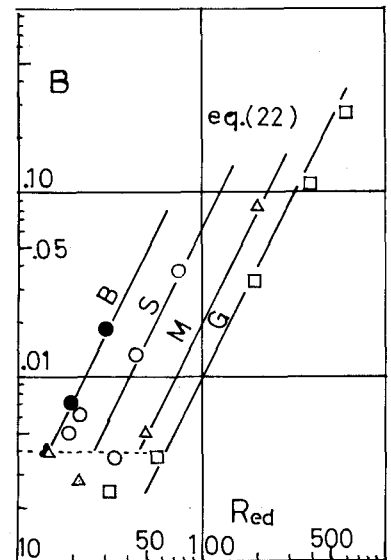


図-4 境界層低下係数 B と Re 数の関係